多异瓢虫对瓜蚜为害后植物挥发物的行为反应及挥发物成分分析

李艳艳[1], 周晓榕[1], 庞保平[1,*], 韩海斌[1], 闫　锋[2]
（1. 内蒙古农业大学农学院，呼和浩特 010019；2. 内蒙古鄂尔多斯市森林病虫害防治检疫站，内蒙古东胜 017000）

摘要：为明确寄主植物挥发物在多异瓢虫 *Hippodamia variegata*（Goeze）搜索猎物过程中的作用，采用 Y 型嗅觉仪测定了多异瓢虫成虫对来自瓜蚜 *Aphis gossypii* Glover、健康植株、有蚜植株及蚜害植株本身的挥发物的行为反应。结果表明：高密度蚜虫（≥700 头/L）、有蚜植株以及密度≥400 头/盆的蚜虫为害诱导的黄瓜挥发物和密度≥200 头/盆的蚜虫为害诱导的搅瓜挥发物对多异瓢虫成虫具有明显的引诱作用，而低密度蚜虫（≤500 头/L）和健康植株挥发物没有引诱作用。应用动态顶空收集法提取健康植株、有蚜植株及蚜害植株的挥发物，进行气质联用仪分析鉴定。结果表明，从黄瓜健康植株、蚜害植株和有蚜植株中分别鉴定出 8，12 和 18 种挥发物，主要组分为十八烯、*E*-5-二十碳烯、正十六烷和正十七烷，诱导出的新组分为对二甲苯、邻二甲苯、正十三烷、α-法呢烯、雪松醇、正十八烷、正二十六烷及 7 种未知种类；从搅瓜健康植株、蚜害植株和有蚜植株分别鉴定出 11，18 和 20 种挥发物，主要组分为石竹烯、十八烯、正十六烷和正十七烷，诱导出的新组分为苯乙烷、对二甲苯、间二甲苯、α-蒎烯、正十四烷、长叶烯、α-石竹烯及 2 种未知种类。上述结果为进一步研究挥发物中引诱多异瓢虫的有效组分奠定了必要的基础。

关键词：多异瓢虫；瓜蚜；黄瓜；搅瓜；行为反应；挥发物
中图分类号：Q968　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：0454-6296(2013)02-0153-08

Behavioral responses of *Hippodamia variegata* (Coleoptera: Coccinellidae) to volatiles from plants infested by *Aphis gossypii* (Hemiptera: Aphidae) and analysis of volatile components

LI Yan-Yan[1], ZHOU Xiao-Rong[1], PANG Bao-Ping[1,*], HAN Hai-Bin[1], YAN Feng[2] (1. College of Agriculture, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010019, China; 2. Erduos Forest Pest Control and Quarantine Station, Dongsheng, Inner Mongolia 017000, China)

Abstract: In order to investigate the roles of volatiles from host plants in the process of *Hippodamia variegata* (Goeze) searching for preys, the behavioral responses of the lady beetle adults to volatiles from *Aphis gossypii* Glover, intact plants, aphid-plant complex and aphid-infested plants were observed with a Y-tube olfactometer. The results showed that the adults were significantly attracted to volatiles from high-density (≥700 individuals/L) aphids, aphid-plant complex, and aphid-infested *Cucumis sativus* plants (aphid density≥400 individuals/pot) and *Cucurbita pepo* var. *medullosa* plants (aphid density≥200 individuals/pot), while not to volatiles from low-density (≤500 individuals/L) aphids and the intact plants. Dynamic headspace collection was used to extract volatiles from the intact plants, aphid-plant complex and aphid-infested plants, respectively, and the extracted volatiles were analyzed by gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS). Eight, twelve and eighteen components were identified from the extracts of the intact plants, aphid-infested plants and aphid-plant complex of *C. sativus*, respectively. The main components include 1-octadecene, [*E*]-5-eicosene, hexadecane and heptadecane, and aphid-induced components are *p*-xylene, 1, 2-dimethy-benzene, tridecane, 1-tetradecene, α-farnesene, cedrol, octadecane, hexacosane and other seven unknown components. Eleven, eighteen and twenty components were identified from the extracts of the intact plants, aphid-infested plants and aphid-plant complex of *C. pepo* var. *medullosa*, respectively. The main components

基金项目：内蒙古自然科学基金重点项目(20080404ZD05)
作者简介：李艳艳，女，1986 年生，博士研究生，研究方向为植物与昆虫的相互作用关系，E-mail：lyy4455@hotmail.com
* 通讯作者 Corresponding author, E-mail：pangbp@imau.edu.cn
收稿日期 Received：2012-10-03；接受日期 Accepted：2013-01-09

include α-caryophyllene, 1-octadecene, hexadecane and heptadecane, and aphid-induced components are ethylbenzene, *p*-xylene, *m*-xylene, α-pinene, tetradecane, longifolene, α-caryophyllene and other two unknown components. The results lay a necessary foundation for further research on the effective components to attract lady beetles.

Key words: *Hippodamia variegata*; *Aphis gossypii*; *Cucumis sativus*; *Cucurbita pepo* var. *medullosa*; behavioral response; volatile

植物挥发物在植物与昆虫的化学通讯中起着决定性作用，调控着昆虫的多种行为，如引诱昆虫趋向寄主植物、刺激昆虫取食、引导昆虫选择产卵场所、进行传粉和防御等（杜家纬，2001）。一般情况下，植食性昆虫往往只取食分类地位上接近的寄主植物（Visser，1986）。除视觉反应外，寄主植物的挥发物为植食性昆虫确定寄主身份的主要感官刺激物，它可以使处于寄主搜索、取食和产卵过程中的植食性昆虫产生种种行为反应，是植食性昆虫正确选择寄主的重要途径（Dethier，1982）。同时，植物挥发物在植物-害虫-天敌三者关系中也起着非常重要的作用。叶螨和昆虫取食诱导的植物挥发物对其天敌都有强烈的引诱作用（Dicke *et al.*，1990；Turlings *et al.*，1990）。目前有关寄主植物挥发物对害虫天敌昆虫行为影响的研究，主要集中于寄生蜂和捕食螨，有关瓢虫等其他捕食性天敌昆虫的研究相对较少，主要包括异色瓢虫 *Harmonia axyridis*（Pallas）（韩宝瑜和陈宗懋，2000；王进忠等，2001；薛皎亮等，2008；Leroy *et al.*，2012）、七星瓢虫 *Coccinella septempunctata* Lewis（王进忠等，2001；Ninkovic *et al.*，2001；Zhu and Park，2005；刘勇等，2005；程丽坤等，2007；Girling and Hassall，2008）、龟纹瓢虫 *Propylea japonica* Lewis（王进忠等，2001；刘勇等，2005；元黎等，2008）、红点唇瓢虫 *Chilocorus kuwanae*（杨新根等，2006；张艳峰等，2009）、*Adalia bipunctata*（Francis *et al.*，2004）、*Aiolocaria hexaspilota*（Yoneya *et al.*，2009）和 *Coleomegilla maculata*（Zhu *et al.*，1999）等。多异瓢虫 *Hippodamia variegata*（Goeze）在世界许多地区是蚜虫的常见捕食者（Franzmann，2002）。但有关蚜虫为害诱导瓜类作物挥发物及其对多异瓢虫捕食行为影响的研究未见报道。因此，本文采用 Y 型嗅觉仪测定了多异瓢虫成虫对黄瓜和搅瓜挥发物的行为反应，同时应用 GC-MS 分析了挥发物的主要成分，以揭示寄主植物挥发物在多异瓢虫搜索猎物过程中的作用。

1 材料与方法

1.1 供试虫源

多异瓢虫成虫采自内蒙古农业大学校教学农场小麦田，单头放于指管中，管口用棉球塞住以防成虫逃逸。将多异瓢虫成虫带回实验室内接入培养皿中，饱食麦蚜 24 h，然后饥饿 24 h 后用于试验。瓜蚜 *Aphis gossypii* Glover 采自呼和浩特市郊区无公害大棚黄瓜上，转移至内蒙古农业大学教学农场温室黄瓜上繁殖备用。

1.2 供试植物

选取黄瓜 *Cucumis sativus*（山东密刺）和搅瓜 *Cucurbita pepo* var. *medullosa*（拍砸 1 号）无病、饱满的种子，浸种催芽后播种于塑料花盆中。出苗后每盆定植 2 株，待植株长到 4～5 片真叶时，去掉顶端待用。从温室采回带有瓜蚜的黄瓜叶片置于白色托盘中，让蚜虫自然脱离叶片以防破坏蚜虫口针。用软毛笔于每盆接约 500 头 2～3 龄无翅若蚜，24 h 后，以接有蚜虫的植株作为有蚜株，以去除蚜虫约 6 h 后的植株作为蚜害株，并以同期生长的健康植株作为对照，进行行为测定和挥发物收集。

1.3 蚜虫密度反应实验

1.3.1 纯蚜虫实验：分别将 250，500，700，1 000，1 500，2 000，2 500，3 000 和 3 500 头 2～3 龄无翅若蚜放入 1 L 的广口瓶中作为蚜虫气味源，以空气为空白对照，进行嗅觉仪行为实验，以确定蚜虫挥发物是否对多异瓢虫具有引诱作用。

1.3.2 有蚜株实验：分别将 200，400，600，800，1 200，2 000，2 800 和 3 600 头 2～3 龄无翅若蚜接于盆栽黄瓜和搅瓜上，取这些植株作为有蚜株，以空气为空白对照，进行嗅觉仪行为实验。

1.4 嗅觉仪行为反应实验

Y 型嗅觉仪采用无色透明的玻璃管制成，基部管长 15 cm，两臂长均为 18 cm，内径 4 cm，两臂夹角 75°。Y 型管两臂分别通过硅胶管与味源相连。在气流进入味源之前，依次经过变色硅胶过滤器、

活性炭过滤器和蒸馏水瓶，以净化空气和增加空气湿度。每臂的气流量通过气体流量计控制在 500 mL/min，抽气口连接在 Y 型管基部管口，气流由直管口抽出，以提供管道中有持续的气味源。两侧臂的前方 30 cm 处放置 2 支 40 W 日光灯，灯下方用半透明的纸隔开，以供给均匀的光照。释放管口与 Y 型管基部垂直。行为测定时，用试管将多异瓢虫成虫逐头引入 Y 型管基部直管内。进行植物挥发物实验时，以盆栽植株为气味源，用无色、无味透明塑料袋（Reynolds，Richmond，Virginia，USA）罩住整个植株，下端用细绳从植株基部将塑料袋开口系紧。塑料袋上端连接进气口，气流速度为 500 mL/min，下端为出气口，连接 Y 型管的侧臂，气流速度为 400 mL/min。

每头虫观测 5 min，当虫体爬至超过某臂 3 cm 处并保持 1 min 以上或达到出口者，就记该虫对该臂气味源做出选择，引入 5 min 仍不做出选择则结束观察，并记不反应。每测定 5 头，更换一新的洁净的 Y 型管，用过的 Y 型管用去污粉清洗干净，再用 95% 乙醇清洗并 60℃烘干、冷却，备用。每测定 10 头调换味源方位 1 次，每一处理测定 60 头成虫。当更换供试植物时，用去污粉清洗整个装置，再用 95% 乙醇清洗，60℃烘干。

1.5　植物挥发物的捕集和鉴定

采用动态顶空收集法捕集植物挥发物。收集装置共有 3 个相同的垂直放置的底部为开放式的圆筒玻璃缸（直径 30 cm，高 50 cm）。收集装置由进气和出气两部分气路组成，进气端由活性炭管过滤空气杂质。在距玻璃缸底部上端 2 cm 有一出气口，出气口内接有挥发物捕集管。进气和出气的流量分别用流量计控制在 450 mL/min 和 350 mL/min。玻璃缸底部由以有机玻璃为材料制成的两个半圆托盘撑住；两个半圆似铡刀合拢时，中间有一个与植株茎秆直径相当的圆孔，可以让植株通过。捕集管（长 8 cm，内径 0.5 cm）内吸附剂为 Super Q（30 mg，80～100 目，美国 Alltech 公司）。植株挥发物共捕集 8 h，从 9：00－17：00。各处理重复 3 次，每次设空白对照一个。挥发物捕集结束后取下吸附管，吸附管用 200 μL 重蒸 CH_2Cl_2 将吸附管中的样品淋洗在样品瓶中。然后将瓶口密封，放在－20℃的冰箱中保存，待检测。

采用 GC（HP-6890）-MS（HP-5973）联用仪对以上样品进行分析。样品进样量为 3 μL。GC 进样口温度为 250℃，无分流进样。色谱柱为 HP-5 MS 毛细管柱（30 m×0.25 mm ID，膜厚 0.25 μm），检测器为氢气火焰检测器（FID）。柱温升温程序为：40℃（2 min），以 6℃/min 升至 250℃（2 min）。以 99.999% 高纯 He 作为载气。柱气流量 1.0 mL/min。GC-MS 接口温度 280℃；EI 离子源，电离能 70 eV。通过核对谱库（NIST98）及标准化合物（α-蒎烯和正十八烷纯度≥98.5%，雪松醇纯度≥99.0%，其余化合物均≥99.5%，Sigma 公司）的质谱图对挥发物的各组分进行鉴定，采用面积归一法确定各组分的相对含量。

1.6　数据分析

在进行嗅觉仪行为测定时，以做出选择反应的多异瓢虫成虫数量为样本总数，分别以选择左臂和右臂的多异瓢虫成虫数量为两个处理的发生数，采用两样本率比较方法进行选择差异的显著性检验（唐启义，2010）。

2　结果与分析

2.1　多异瓢虫对不同密度蚜虫的选择反应

嗅觉仪测定表明（图 1，图 2），当蚜虫密度≥700 头/L 时，蚜虫挥发物对多异瓢虫成虫才有明显的引诱作用（$P<0.05$），但引诱强度与蚜虫密度不呈正比关系，蚜虫密度在 2 000 头/L 和 2 500 头/L 时引诱力最强。随着蚜虫密度的上升，有蚜株对多异瓢虫的引诱作用增强。当蚜虫密度≥200 头/盆时，搅瓜有蚜株对多异瓢虫的引诱作用极显著地大于空白对照（$P<0.01$），而黄瓜有蚜株当蚜虫密度≥400 头/盆时，才显著地大于空白对照（$P<0.05$）。

2.2　多异瓢虫成虫对植物挥发物的行为反应

嗅觉仪测定表明（图 3），黄瓜和搅瓜的健康植株对多异瓢虫成虫均没有引诱作用（$P>0.05$），黄瓜和搅瓜有蚜株和蚜害株上诱集的多异瓢虫成虫数量显著多于黄瓜和搅瓜健康植株上（$P<0.05$），黄瓜有蚜株对多异瓢虫成虫诱集作用极显著大于黄瓜蚜害株（$P<0.01$），但搅瓜有蚜株与蚜害株对多异瓢虫成虫的引诱作用差异不显著（$P>0.05$）。上述结果表明，蚜虫为害诱导的寄主植物挥发物对多异瓢虫成虫有明显的引诱作用，而健康植株挥发物没有引诱作用。

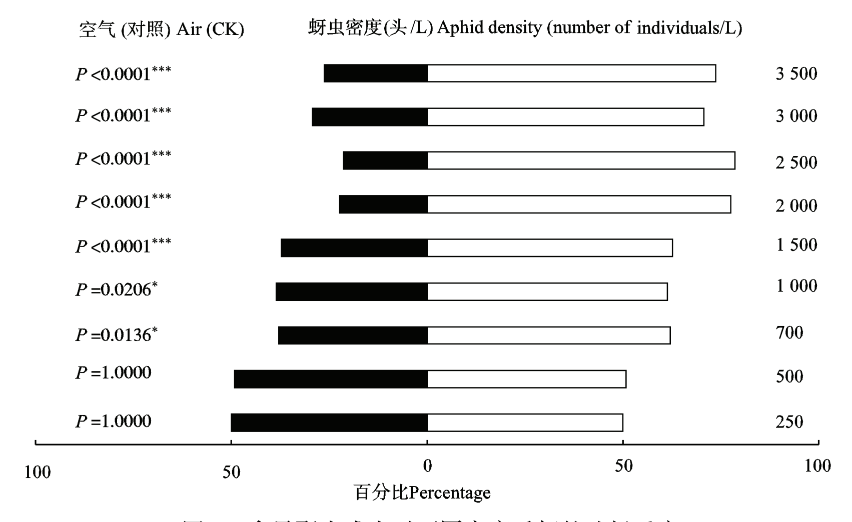


图 1 多异瓢虫成虫对不同密度瓜蚜的选择反应

Fig. 1 Selective responses of *Hippodamia variegata* adults to *Aphis gossypii* of different densities

*：差异显著($P<0.05$, χ^2 检验) Significant difference ($P<0.05$, χ^2 test)；**：差异极显著($P<0.01$, χ^2 检验) Extremely significant difference ($P<0.01$, χ^2 test)；***：差异极显著($P<0.001$, χ^2 检验) Extremely significant difference ($P<0.001$, χ^2 test). 图2 和3 同 The same for Figs. 2 and 3.

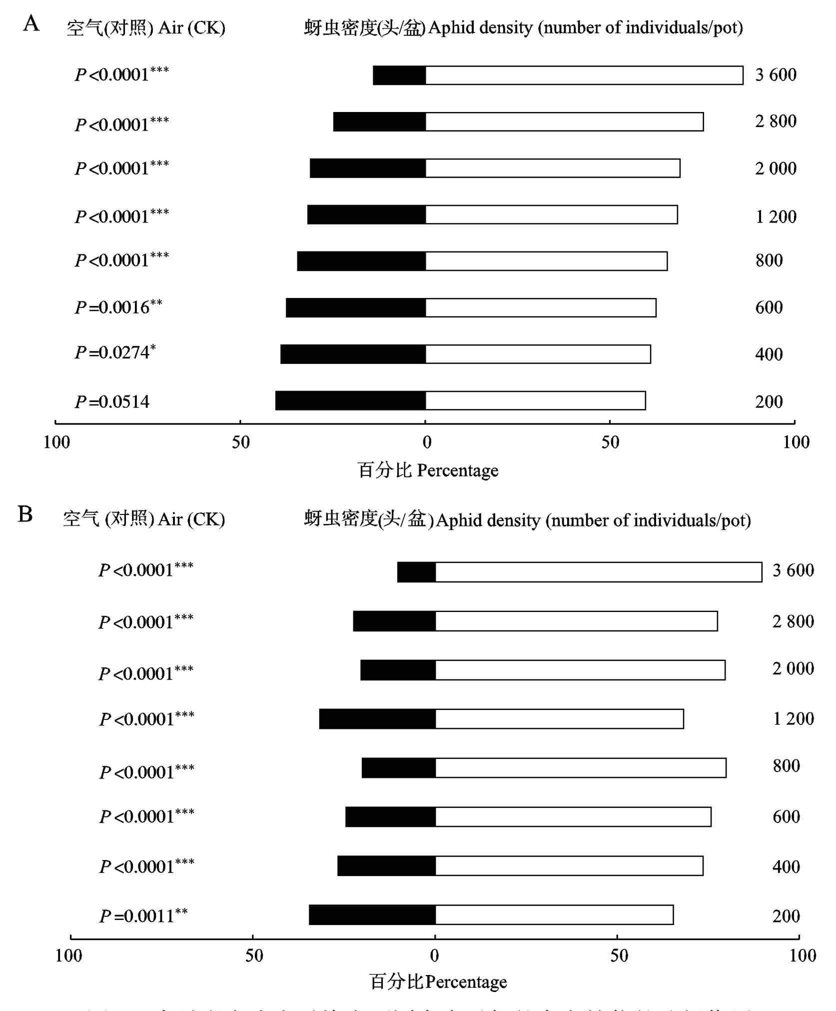


图 2 多异瓢虫成虫对接有不同密度瓜蚜的寄主植物的选择作用

Fig. 2 Selective responses of *Hippodamia variegata* adults to host plants infested with *Aphis gossypii* of different densities

A：黄瓜 *Cucumis sativus*；B：搅瓜 *Cucurbita pepo* var. *medullosa*.

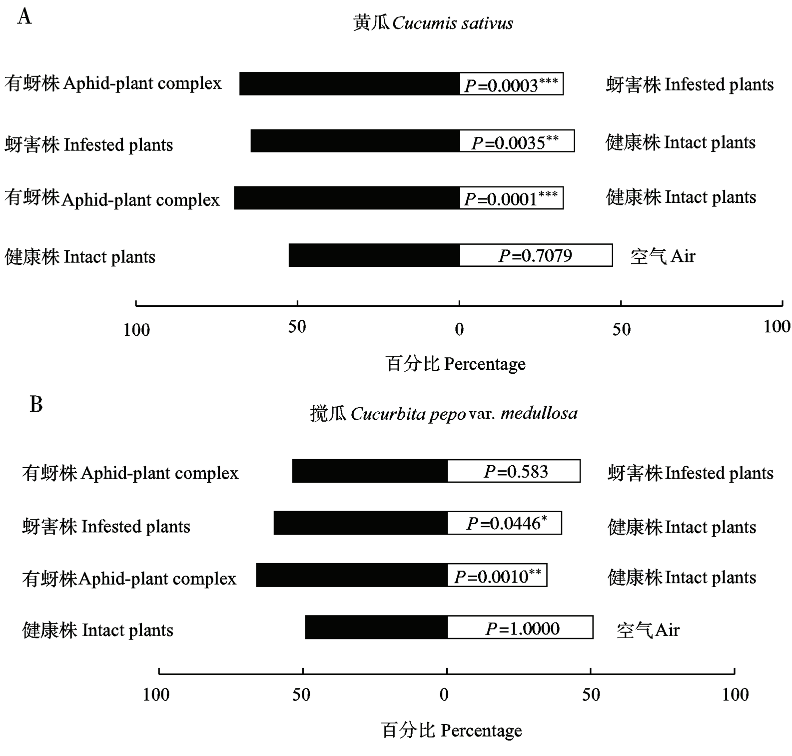


图 3　多异瓢虫成虫对寄主植物挥发物的选择反应

Fig. 3　Selective responses of *Hippodamia variegata* adults to volatiles from host plants

2.3　寄主植物挥发物成分的分析

GC-MS 分析(表 1)表明，黄瓜健康植株挥发物主要由 8 种化合物组成，含量最高的为十八烯，其次为 *E*-5-二十碳烯，再次为正十七烷，前 3 个组分合计占总量的 67.52%，其他组分均不到 10%。蚜害株(为害 24 h 后去掉蚜虫)挥发物组分为 12 种，含量最高的为十八烯，其次为 *E*-5-二十碳烯，再次为正十八烷，前 3 个组分占总量的 71.53%。有蚜株挥发物组分增加到 18 种，含量最高为十八烯，其次为正十六烷，再次为正十七烷和 *E*-5-二十碳烯，前四者合计占 59.59%。植株受害后增加的组分有对二甲苯、邻二甲苯、正十三烷、十四烯、α-法呢烯、雪松醇、正十八烷和正二十六烷，还有 7 个组分未鉴定出种类。

搅瓜健康植株挥发物主要由 11 种化合物组成，含量最高的为石竹烯，其次为十八烯，再次为正十六烷和正十七烷，前 4 个组分占总量的 70.81%，其他组分均不到 10%。蚜害株(为害 24 h 后去掉蚜虫)挥发物组分为 18 种，含量最高的为石竹烯，其次为十八烯，前 2 个组分占总量的 39.2%，其他组分均不到 10%。有蚜株挥发物组分增加到 20 种，含量最高仍为石竹烯，其余均未超过 10%。植株受害后增加的组分有苯乙烷、对二甲苯、间二甲苯、α-蒎烯、正十四烷、长叶烯和 α-石竹烯，还有 2 个组分未鉴定出种类。

从表 1 可以看出，不管是否受到瓜蚜为害，2 种寄主植物挥发物中含量最高的化合物没有改变，黄瓜中为十八烯，搅瓜中为石竹烯。2 种植物健康植株共有的挥发物近 50%，共有 5 种物质，即：正十五烷、正十六烷、正十七烷 3 种烷烃类化合物和十八烯、*E*-5-二十碳烯 2 种萜烯类化合物。黄瓜挥发物中没有而搅瓜挥发物中有的化合物包括古巴烯、石竹烯及 1 种未知挥发物，共 3 种。瓜蚜为害后诱导出的共同物质为对二甲苯和 2 种未知化合物。

3　讨论

植物挥发物在植食性昆虫和天敌昆虫的生境定位、寄生或捕食行为中起着重要作用。本文研究表明，蚜虫为害寄主植物后，不管是否去掉蚜虫，受害后的植株对多异瓢虫均有明显的引诱作用，并且引诱强度随蚜虫密度的上升而增强，而健康植株没有引诱作用。说明蚜虫为害诱导的植物挥发物在多异瓢虫搜索猎物过程中起着重要作用。同时，本研究表明，蚜虫本身挥发物对多异瓢虫成虫也有引诱

表 1 黄瓜和搅瓜被蚜虫为害后植株挥发物主要成分及相对含量(%)

Table 1 Main components and the relative contents (%) of volatiles from two host plants infested by *Aphis gossypii*

序号 No.	化合物 Compounds	黄瓜 *Cucumis sativus*			搅瓜 *Cucurbita pepo* var. *medullosa*		
		健康植株 Intact plants	有蚜株 Aphid-plant complex	蚜害株 Aphid-infested plants	健康植株 Intact plants	有蚜株 Aphid-plant complex	蚜害株 Aphid-infested plants
1	苯乙烷 Ethylbenzene	–	–	–	–	0.28	–
2	对二甲苯 *p*-Xylene	–	2.38	1.87	–	1.13	1.73
3	间二甲苯 *m*-Xylene	–	–	–	–	0.30	–
4	邻二甲苯 1,2-Dimethy-benzene	–	0.62	–	–	–	–
5	α-蒎烯 α-Pinene	1.37	2.19	0.35	–	1.32	0.87
6	古巴烯 Copaene	–	–	–	1.78	5.67	0.79
7	未知 1 Unknown 1	–	0.82	–	–	–	–
8	正十三烷 Tridecane	–	0.89	–	–	–	–
9	未知 2 Unknown 2	–	0.18	–	–	–	–
10	未知 3 Unknown 3	–	–	–	1.33	2.26	1.49
11	正十四烷 Tetradecane	2.84	3.82	–	–	2.71	2.57
12	长叶烯 Longifolene	0.87	1.75	–	–	0.52	1.01
13	石竹烯 Caryophyllene	–	–	–	33.49	40.65	22.79
14	α-石竹烯 α-Caryophyllene	–	–	–	–	5.01	5.31
15	十四烯 1-Tetradecene	–	1.39	–	–	–	–
16	正十五烷 Pentadecane	5.38	7.69	–	4.82	6.08	5.57
17	α-法呢烯 α-Farnesene	–	3.52	5.21	–	–	–
18	正十六烷 Hexadecane	9.48	16.07	3.27	12.52	7.26	9.45
19	未知 4 Unknown 4	–	5.86	–	3.02	3.24	4.99
20	雪松醇 Cedrol	–	–	0.68	–	–	–
21	正十七烷 Heptadecane	13.21	13.49	6.88	10.94	7.96	6.05
22	未知 5 Unknown 5	–	0.49	–	–	0.85	2.52
23	未知 6 Unknown 6	–	0.32	–	–	0.74	1.65
24	未知 7 Unknown 7	–	–	1.77	–	–	–
25	未知 8 Unknown 8	–	–	3.16	–	–	–
26	十八烯 1-Octadecene	36.88	18.23	31.86	13.86	7.46	16.41
27	正十八烷 Octadecane	–	–	16.59	3.89	1.48	4.41
28	*E*-5-二十碳烯[*E*]-5-eicosene	17.43	11.80	23.08	5.83	2.22	6.36
29	正二十六烷 Hexacosane	–	–	5.28	4.77	2.87	6.03

–：未检测到 Not detectable.

作用，但与蚜虫密度有关，当蚜虫密度达到700 头/L时，蚜虫挥发物才对多异瓢虫有明显的引诱作用。韩宝瑜和陈宗懋(2000)在研究异色瓢虫成虫对茶蚜 *Toxoptera auranti* 气味的行为反应时，也获得了类似的结果，当茶蚜数量超过一定密度时，异色瓢虫成虫才对茶蚜气味有明显的趋性。另一方面，搅瓜有蚜株引诱到的多异瓢虫数量略多于搅瓜蚜害株引诱的数量，但未达到 $P<0.05$ 显著水平，而黄瓜有蚜株的引诱力极显著地强于蚜害株。这可能是由于搅瓜有蚜株的挥发物组分只比蚜害株多了2 种，而黄瓜有蚜株的挥发物组分比黄瓜蚜害株多了9 种。在嗅觉仪实验中，我们与绝大多数研究者

一样使用的供试瓢虫未分雌雄(韩宝瑜和陈宗懋，2000；王进忠等，2001；Ninkovic *et al.*，2001；Francis *et al.*，2004；Zhu and Park，2005；杨新根等，2006；程丽坤等，2007；薛皎亮等，2008；亓黎等，2008；张艳峰等，2009)，但也有部分研究者只使用雌虫(刘勇等，2005；Girling and Hassall，2008)。雌雄两性瓢虫是否对挥发物的反应有差异，还有待于今后进一步研究。

植食性昆虫诱导的植物挥发物的种类和数量随植食性昆虫、植物种类、甚至基因型而改变(Turlings *et al.*，1990；Takabayashi *et al.*，1994)。本文结果表明，尽管供试的 2 种植物均属于葫芦科，亲缘关系较近，但不同种类植物挥发性化合物的种类约 50% 不同，相同的只有 5 种。瓜蚜为害黄瓜后挥发物主要成分为十八烯、*E*-5-二十碳烯、正十六烷和正十七烷，而二斑叶螨为害黄瓜后产生的挥发物主要组分为(*E*)-4，8-dimethyl-1，3，7-nonatriene，α-法尼烯[(*E*,*E*)-α-farnesene]和β-罗勒烯[(*E*)-β-ocimene](Kappers *et al.*，2010)，造成差异的原因很可能是植食者种类不同，也不排除黄瓜品种不同。另一方面，瓜蚜为害后均诱导出许多新的挥发物，黄瓜从 8 种增加到 19 种，搅瓜从 11 种增加到 20 种，而且不管是否受害，寄主植物挥发物含量最多的仍为萜烯类化合物。柿树被日本龟蜡蚧 *Ceroplastes japonicus* 为害后诱导出 8 种新的组分(杨新根等，2006)。这符合植食性昆虫取食诱导后植物挥发物组成变化的一般规律(娄永根和程家安，2000)。但也有一些研究表明一些取食韧皮部的昆虫取食后不能诱导植物产生新的挥发性物质(Raven，1983；Karban and Baldwin，1997；Miles，1999；Stotz *et al.*，1999；程丽坤等，2007)。

GC-MS 分析表明，黄瓜和搅瓜受瓜蚜为害后释放出苯乙烷、对二甲苯、间二甲苯、邻二甲苯、正十三烷、α-石竹烯、十四烯、α-法呢烯和雪松醇等新组分。Ishiwari 等(2007)研究表明，叶螨 *Tetranychus kanzawai* 为害茶树叶后释放的挥发物对捕食螨 *Neoseiulus womersleyi* 具有明显的引诱作用，其组分 α-法呢烯起着重要作用。本研究结果表明，瓜蚜为害诱导的植物挥发物对多异瓢虫成虫具有强烈的引诱作用，上述新诱导出的组分在其中起何作用，还有待于今后进一步研究。

参考文献(References)

Cheng LK, Ren Q, Liu XX, Guo CS, Teng ZQ, Zhang QW, 2007. Behavioral responses of *Aphis gossypii* and *Coccinella septempunctata* to volatiles from *Eupatorium adenophorum* and an analysis of chemical components of the volatiles. *Acta Entomol. Sin.*, 50(11): 1194 – 1199. [程丽坤，任琴，刘小侠，果春山，腾兆乾，张青文，2007. 棉蚜和七星瓢虫对紫茎泽兰挥发物的行为反应及挥发物化学成分初步分析. 昆虫学报，50(11): 1194 – 1199]

Dethier V, 1982. Mechanism of host-plant recognition. *Entomol. Exp. Appl.*, 31: 49 – 56.

Dicke M, Sabelis MW, Takabayashi J, 1990. Plant strategies of manipulating predator-prey interactions through allelochemicals: prospects for application in pest control. *J. Chem. Ecol.*, 16: 3091 – 3118.

Du JW, 2001. Plant-insect chemical communication and its behavior control. *Acta Phytophysiol. Sin.*, 27(3): 193 – 200. [杜家纬，2001. 植物-昆虫间的化学通讯及其行为控制. 植物生理学报，27(3): 193 – 200]

Francis F, Lognay G, Haubruge E, 2004. Olfactory responses to aphid and host plant volatile releases: (*E*)-β-farnesene an effective kairomone for the predator *Adalia bipunctata*. *J. Chem. Ecol.*, 30: 741 – 755.

Franzmann BA, 2002. *Hippodamia variegata* (Goeze) (Coleoptera: Coccinellidae), a predacious ladybird new in Australia. *Aust. J. Entomol.*, 41: 375 – 377.

Girling RD, Hassall M, 2008. Behavioural responses of the seven-spot ladybird *Coccinella septempunctata* to plant headspace chemicals collected from four crop brassicas and *Arabidopsis thaliana*, infested with *Myzus persicae*. *Agric. For. Entomol.*, 10: 297 – 306.

Han BY, Chen ZM, 2000. Behavior response of four *Leis axyridis* varieties to volatiles from tea and *Toxoptera auranti*. *Chin. J. Appl. Ecol.*, 11(3): 413 – 416. [韩宝瑜，陈宗懋，2000. 异色瓢虫 4 变种成虫对茶和茶蚜气味行为反应. 应用生态学报，11(3): 413 – 416]

Ishiwari H, Suzuki T, Maeda T, 2007. Essential compounds in herbivore-induced plant volatiles that attract the predatory mite *Neoseiulus womersleyi*. *J. Chem. Ecol.*, 33: 1670 – 1681.

Kappers IF, Verstappen FWA, Luckerhoff LLP, Bouwmeester HJ, Dicke M, 2010. Genetic variation in jasmonic acid- and spider mite-induced plant volatile emission of cucumber accessions and attraction of the predator *Phytoseiulus persimilis*. *J. Chem. Ecol.*, 36: 500 – 512.

Karban R, Baldwin IT, 1997. Induced Responses to Herbivory. University of Chicago Press, Chicago.

Leroy PD, Schillings T, Farmakidis J, Heuskin S, Lognay G, Verheggen FJ, Brostaux Y, Haubruge E, Francis F, 2012. Testing semiochemicals from aphid, plant and conspecific: attraction of *Harmonia axyridis*. *Insect Sci.*, 19: 372 – 382.

Liu Y, Guo GX, Chen JL, Ni HX, 2005. Behavioral and electrophysiological responses of four predatory insect species to semiochemicals of wheat. *Acta Entomol. Sin.*, 48(2): 161 – 165. [刘勇，郭光喜，陈巨莲，倪汉祥，2005. 瓢虫和草蛉对小麦挥发物组分的行为及电生理反应. 昆虫学报，48(2): 161 – 165]

Lou YG, Cheng JA, 2000. Herbivore-induced plant volatiles: primary

characteristics, ecological functions and its release mechanism. *Acta Ecol. Sin.*, 20(6): 1097 – 1106. [娄永根, 程家安, 2000. 虫害诱导的植物挥发物: 基本特性、生态学功能和释放机制. 生态学报, 20(6): 1097 – 1106]

Miles PW, 1999. Aphid saliva. *Biol. Rev.*, 74: 41 – 85

Ninkovic V, Abassi SA, Pettersson J, 2001. The influence of aphid-induced plant volatiles from barley on the searching behaviour of the seven spot ladybird, *Coccinella septempunctata*. *Biol. Control*, 21: 191 – 195.

Qi L, Jiang LR, Qin HG, Han BY, Wang RF, 2008. Behaviour responses of *Propylaea japonica* to volatiles from tea plants. *Acta Agriculturae Zhejiangensis*, 20(2): 96 – 99. [亓黎, 江丽蓉, 秦华光, 韩宝瑜, 王荣富, 2008. 龟纹瓢虫对茶树挥发物的行为反应. 浙江农业学报, 20(2): 96 – 99]

Raven JA, 1983. Phytophages of xylem and phloem. *Adv. Ecol. Res.*, 13: 135 – 234.

Stotz HU, Kroymann J, Mitchell-Olds T, 1999. Plant-insect interactions. *Curr. Opin. Plant Biol.*, 2: 268 – 272.

Takabayashi J, Dicke M, Posthumus MA, 1994. Volatile herbivore-induced terpenoids in plant-mite interactions: variation caused by biotic and abiotic factors. *J. Chem. Ecol.*, 20: 1329 – 1354.

Tang QY, 2010. DPS© Data Processing System – Experimental Design, Statistical Analysis and Data Mining. 2nd ed. Science Press, Beijing. [唐启义, 2010. DPS©数据处理系统——实验设计、统计分析及数据挖掘(第 2 版). 北京: 科学出版社]

Turlings TCJ, Tumlison JH, Lewis WJ, 1990. Exploitation of herbivore-induced plant orders by host-seeking parasitic wasps. *Science*, 250: 1251 – 1253.

Visser JH, 1986. Host odor perception by phytophagous insects. *Annu. Rev. Entomol.*, 31: 121 – 144.

Wang JZ, Miu K, Sun SL, Su HT, 2001. Olfactory responses of three species of ladybird beetles to the aphids and the leaves of their host plants. *Journal of Beijing Agricultural College*, 16(1): 22 – 26. [王进忠, 缪昆, 孙淑玲, 苏红田, 2001. 3 种瓢虫对蚜虫及其寄主植物的嗅觉反应. 北京农学院学报, 16(1): 22 – 26]

Xue JL, He J, Xie YP, 2008. Attractive effect of plant volatiles on *Harmonia axyridis* (Pallas). *Chin. J. Appl. Environ. Biol.*, 14(4): 494 – 498. [薛皎亮, 贺珺, 谢映平, 2008. 植物挥发物对天敌昆虫异色瓢虫的引诱效应. 应用与环境生物学报, 14(4): 494 – 498]

Yang XG, Xie YP, Xue JL, Chang XX, 2006. Change in volatiles of *Diospyros kaki* L. damaged by *Ceroplastes japonicus* Green and their attraction to *Chilocorus kuwanae* Silvestri. *Chin. J. Appl. Environ. Biol.*, 12(2): 215 – 219. [杨新根, 谢映平, 薛皎亮, 畅晓霞, 2006. 柿树被日本龟蜡蚧危害后挥发物的变化及其对红点唇瓢虫的引诱作用. 应用与环境生物学报, 12(2): 215 – 219]

Yoneya K, Kugimiya S, Takabayashi J, 2009. Can herbivore-induced plant volatiles inform predatory insect about the most suitable stage of its prey? *Physiol. Entomol.*, 34: 379 – 386.

Zhang YF, Xie YP, Xue JL, Wang X, 2009. Attraction to the ladybeetle by the volatiles of Persimmon trees induced with methyl jasmonate and Japanese wax scale attacking. *Scientia Silvae Sinica*, 45(1): 90 – 96. [张艳峰, 谢映平, 薛皎亮, 王旭, 2009. 茉莉酸甲酯和日本龟蜡蚧诱导柿树挥发物对红点唇瓢虫的吸引. 林业科学, 45(1): 90 – 96]

Zhu J, Cosse AA, Obrycki JJ, Boo KS, Baker TC, 1999. Olfactory reactions of the twelve-spotted lady beetle, *Coleomegilla maculata* and the green lacewing, *Chrysoperla carnea* to semiochemicals released from their prey and host plant: electroantennogram and behavioral responses. *J. Chem. Ecol.*, 25: 1163 – 1177.

Zhu JW, Park KC, 2005. Methyl salicylate, a soybean aphid-induced plant volatile attractive to the predator *Coccinella septempunctata*. *J. Chem. Ecol.*, 31: 1733 – 1746.

(责任编辑: 武晓颖)